

Positionierung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Nationalen Allokationsplan zum Emissionshandel

Gemeinschafts-Gutachten

erstellt im Auftrag mehrerer Unternehmen sowie des

VIK

Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen

durch

Dr.-Ing. Arnold Tolle

Stand

18.12.2003

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUFGABENSTELLUNG	6
2.1	Aktuelle Situation der KWK	6
2.1.1	Aktuelle KWK-Gesetzgebung	6
2.2	Ziel des Gutachtens	6
2.3	Problematik KWK im Emissionshandel (EH)	7
2.3.1	Die „20 MW-Schwelle“	7
2.3.2	Wärmeverteilung in Nicht-Emissionshandels-Bereiche	7
2.4	Zielsetzung der europäischen Emissionshandels-Richtlinie	7
2.4.1	Effiziente Technologie im NAP	8
2.4.2	Abgrenzung zur europäischen KWK-Richtlinie	8
2.5	Anforderungen	8
3	ALLOKATIONSMODELL	9
3.1	Wärme	9
3.2	Strom / mechanische Arbeit	10
3.2.1	Effizienzkriterien	10
3.2.2	Effizienzklassen Strom	10
3.2.2.1	CatA-Strom: höchst effizient	11
3.2.2.2	CatC-Strom: ohne besondere Qualifikation	11
3.2.2.3	CatB-Strom: sehr effizient	12
3.2.3	Allokation Strom - Allgemeine Formel	12
3.3	Ergänzende Regelungen	13
3.3.1	Grandfathering für Stromerzeugungsanlagen	13
3.3.2	Brennstoffbesteuerung	14
3.3.3	Stündliche Abrechnungsintervalle	14
4	ERLÄUTERUNGEN	15
4.1	Aufteilung Wärme und Strom	15
4.1.1	Abgabe Zertifikate nach § 12 Abs. 3	15
4.2	Kategorien	15
4.3	Sicherstellung des KWK-Reduktionspotentials	16

4.4	Angemessene Anreizwirkung	16
4.5	Langfristige Anpassung	17
4.6	Trennschärfe und Handhabung	17
4.7	Referenzsystem und Vergleichskraftwerk	18
4.8	Brennstoffneutralität	19
4.8.1	Abgrenzung zum Primärenergieeinsparungsmodell	20
4.9	Grandfathering und Anreize für neue Anlagen	21
4.9.1	Stilllegungen	21
4.9.2	Prinzip der Gleichbehandlung	22
4.10	Unterschiedliche KWK-Kraftwerkstypen	22
4.11	Budget CO₂-Zertifikate	23
4.12	Anwendung des Benchmarkprinzips	24
4.12.1	Keine Beihilfe	25
4.13	Keine Doppelförderung	25
4.14	Gleichbehandlung Kommunal / Industriell	25
4.14.1	Angemessenes Grandfathering	26
4.15	Flexibilität	26
4.16	Versorgungssicherheit	26
4.17	Referenz Stromerzeugung	26
5	ANHANG	27
5.1	Beispielrechnungen Allokation	27
5.2	Vorteilhaftigkeit der KWK-Stromerzeugung	29
5.2.1	Spezifische CO ₂ -Emissionen der KWK-Stromerzeugung	29
5.2.2	Vergleich mit anderen Kraftwerken	30
5.2.3	Stromkennzahl als Schlüssel für die Höhe des Reduktionspotentials	30
5.2.4	Beispiel: Energieströme einer Gasturbinen/Dampfturbinen-KWK-Anlage	32
5.2.5	Berechnung aus dimensionslosen Kenngrößen	33
5.3	Bestimmung der brennstoffbedingten Stromgestehungskosten	33
5.4	KWK-Potentiale	34
5.5	Gleichwertigkeit von elektrischer und mechanischer Energie	34
5.5.1	Juristische Präzedenzfälle	34
5.6	Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen	35

1 Zusammenfassung

Das vorliegende Gutachten stellt konkrete Regeln für die Positionierung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Nationalen Allokationsplan vor.

Entsprechend der europäischen Emissionshandelsrichtlinie soll die KWK als Effizienz-Technologie mit dem geringsten Output pro Erzeugungseinheit (hier Strom) verstärkt genutzt werden. KWK-Kraftwerke können Strom erzeugen, der niedrigere spezifische Emissionen aufweist als alle anderen Kraftwerke auf fossiler Basis.

Ziel ist daher ein Modell, das einen wirkungsvolleren Anreiz zur Schaffung höchsteffizienter Kraftwerke besonders auf KWK-Basis bietet als bisherige Modellansätze.

Die wesentlichen Prinzipien für die Zielerreichung

- Differenzierte Allokation für die Einzelprodukte Wärme und Strom (wie in der europäischen KWK-Richtlinie)
- Anreizwirkung nach dem Substitutionsprinzip für höchsteffizienten Strom (Ergänzung des allgemeinen Grandfathering durch einen zusätzlichen Benchmark-Ansatz für höchsteffizienten Strom; Kriterium: Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs)
- Angepaßtes Grandfathering für zurückgefahrenere Kraftwerke

Die Vorteile

- Moderate und angemessene Anreizwirkung für höchsteffiziente Stromerzeugung: nimmt mit zunehmender Effizienz des Kraftwerkparks wieder ab und ist damit langfristig tragfähig. (Ziel der europäischen Emissionshandels-Richtlinie)
- Entlastung des CO₂-Zertifikatemarktes: dadurch niedrigere Strompreise für Verbraucher und niedrigere Zertifikatspreise für andere Marktteilnehmer
- Kostenoptimierung durch Vermeidung von Fehlanreizen: Absolute Brennstoffneutralität führt zu gleichem Anreiz pro Tonne eingespartem CO₂ (Vorteil des Substitutionsprinzips gegenüber Primärenergieeinsparung-Modellen)
- Flexibilität ermöglicht Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit.
- Doppelförderung ausgeschlossen: zum Beispiel parallel durch das KWK-Gesetz
- Problematik der 20-MW Grenze gelöst
- Klare, trennscharfe Effizienzkriterien sind bereits integriert: unabhängig von externen, noch ungeklärten Regelungen
- Leichte Handhabung bei hoher Zielgenauigkeit: nur bekannte Größen erforderlich. (s. Beispiel-Rechnung in Excel-Tabelle)
- Gleiche Chancen für etablierte und neue Marktteilnehmer: ausreichende Verfügbarkeit von CO₂-Zertifikaten auch für neue Anlagen

Effizienzklassen

Zur Verdeutlichung wird der Strom in drei Effizienzklassen eingeteilt.

- Höchsteffizienter CatA-Strom wird mit einem Wirkungsgrad von über 62.5% erzeugt. Er liegt damit mindestens 5% höher, als dies in jedem anderen fossilen, kommerziell verfügbaren Kraftwerk möglich ist. Für diesen Strom werden Zertifikate entsprechend dem Durchschnitt des fossilen Kraftwerksparks zugeteilt. Dies geschieht jedoch nur, wenn der Strom nicht durch das KWK-Gesetz gefördert wird. (Keine Doppelförderung)
- CatB-Strom wird proportional zwischen CatA und CatC behandelt.
- Die Effizienz von CatC-Strom liegt im Bereich normaler Kraftwerke und erhält daher die gleiche Zuteilung wie dieser.

Effizienzkriterium

Das Gütekriterium der Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs ist bereits in das Modell integriert. Es ist technologieunabhängig und ermöglicht den Einsatz der wirtschaftlichsten und effizientesten KWK-Kraftwerke. Durch die Focussierung auf die Effizienz unterscheiden sich die hier vorgestellten Regeln auch deutlich von eher technologieorientierten Ansätzen, die zusätzliche externe und z. T. komplizierte Regeln erfordern.

Über die Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs lassen sich die spezifischen CO₂-Emissionen der KWK-Stromerzeugung berechnen und damit ein transparentere Vergleiche zu Nicht-KWK-Kraftwerken herstellen. Hinsichtlich der CO₂-Reduktion als Ziel der europäischen Emissionshandelsrichtlinie wirkt sie aufgrund ihrer hohen Trennschärfe zielführend.

Die Handhabung ist sehr einfach, so daß auch die Regeln in sich selbst effizient sind. Eine Exceldatei zur Berechnung ist beigefügt.

Anreizwirkung

Verglichen mit dem aktuellen KWK-Gesetz fallen die zu erwartenden Anreizwirkungen deutlich niedriger aus. Dafür wirken sie über einen längeren Zeitraum und werden nur für die effizienteste Stromerzeugung gewährt. Sie sind ausreichend hoch, um noch eine tatsächliche Anreizwirkung darzustellen. Sie können daher als moderat und angemessen bezeichnet werden.

Fazit

Die Forderung der europäischen Emissionshandelsrichtlinie zur kostengünstigen Erzeugung von emissionsarmem Strom wird durch die vorgestellten Regeln wirkungsvoll unterstützt. Diese ergänzen das allgemeine Grandfathering-Modell durch einen Benchmark-Ansatz für höchsteffiziente Stromerzeugung. Der CO₂-Zertifikatemarkt wird entlastet.

Das Modell unterstützt in idealer Weise das Ziel des Emissionshandels, die erforderlichen Emissionsreduktionen mit minimalen Gesamtkosten zu erreichen.

2 Aufgabenstellung

2.1 Aktuelle Situation der KWK

Zur Zeit werden die Regeln für die Behandlung der KWK im Nationalen Allokationsplan (NAP) diskutiert. Das Ergebnis wird bedeutende und nachhaltige wirtschaftliche Konsequenzen für weite Bereiche der Industrie haben.

Dies gilt natürlich zum einen für die Unternehmen, die sich am Wertschöpfungsprozess der KWK-Stromerzeugung beteiligen können. Andererseits werden aber auch die strombeziehenden Unternehmen von einer gesamtökonomisch effizienten Nutzung der KWK-Potentiale profitieren, da dies letztlich zu niedrigeren Bezugspreisen führen wird. Auch der Wettbewerb in der Stromerzeugung wird befördert.

2.1.1 Aktuelle KWK-Gesetzgebung

Das aktuelle KWK-Gesetz wird nur zu einem sehr begrenzten Wachstum führen. Wie einige Untersuchungen zeigen, bleibt es damit weit hinter den Erwartungen zurück.

Die dort vorgesehenen Fördermaßnahmen begrenzen sich - mit Ausnahme für die sehr kleinen Anlagen - auf den Zeitraum bis 2010. Zusätzliche Anlagen sind nicht mehr zu erwarten. Die Frist zum Stellen entsprechender BImSch-Anträge ist bereits am 31.3.2003 abgelaufen. Auch eine Inbetriebnahme kleinerer Anlagen, für die keine BImSch-Anträge erforderlich sind, wird vor dem 1.1.2005 nicht mehr möglich sein. Der Förderzeitraum wird zudem aufgrund des fixen Enddatums immer geringer.

Um jedoch den im Rahmen des europäischen burden sharing vereinbarten nationalen Anteil an den Emissionsminderungen zu erreichen, kann weder auf die aktuell installierte KWK noch auf ihren Ausbau verzichtet werden.

2.2 Ziel des Gutachtens

Einer adäquaten Berücksichtigung der KWK im nationalen Allokationsplan kommt daher höchste Bedeutung zu. Das Instrument des internationalen Emissionshandels wurde von der EU gewählt, um mit möglichst geringen Kosten die gesteckten Reduktionsziele zu erreichen. Entsprechend sollten die Regeln des nationalen Allokationsplanes insbesondere auch für die Kraft-Wärme-Kopplung gestaltet werden.

Ziel des Gutachtens ist die Aufstellung und Begründung von klaren und sachgerechten Allokationsregeln für die KWK.

2.3 Problematik KWK im Emissionshandel (EH)

Die Kraft-Wärme-Kopplung produziert immer zwei Koppelprodukte: Wärme und Strom. Daraus resultieren zwei besondere Problemfelder:

2.3.1 Die „20 MW-Schwelle“

Wärmeerzeuger ab einer Feuerungsleistung von 20 MW unterliegen dem Emissionshandel. Die Wärmeversorgung eines industriellen oder kommunalen Verbrauchers knapp unter dieser Grenze kann erfolgen entweder durch

- a) einen reinen Heizkessel ohne Kraft-Wärme-Kopplung oder
- b) eine KWK-Anlage.

Im Fall a) unterliegt der Betreiber nicht dem Emissionshandel und braucht daher keine CO₂-Zertifikate aufzuweisen.

Für die über die Wärmebedarfsdeckung hinausgehende zusätzliche Stromerzeugung im Fall b) wird jedoch zusätzlicher Brennstoff benötigt, so daß die Feuerungswärmeleistung oberhalb 20 MW liegt. Ohne eine besondere Regelung müßten daher für den gesamten Brennstoff der KWK-Anlage CO₂-Zertifikate nachgewiesen werden.

Dies stellt entweder

- eine Ungleichbehandlung der Wärmeversorgung mit und ohne KWK oder
- eine Benachteiligung des KWK-Stromerzeugers gegenüber Wettbewerbern ohne diese Einschränkung dar, es sei denn, diese Wettbewerber werden im Rahmen des NAP anderen Restriktionen unterworfen.

In diesem industriell sehr wichtigen Leistungsbereich bedeutet dies ein starkes Hemmnis. Es ist sogar zu befürchten, daß viele der existierenden Anlagen außer Betrieb genommen werden.

2.3.2 Wärmeverteilung in Nicht-Emissionshandels-Bereiche

Wird Wärme aus KWK-Anlagen in Bereiche exportiert, die nicht dem Emissionshandel unterliegen, zeigt sich eine ähnliche Situation. Dies kann besonders bei kommunalen Anlagen der Fall sein, die ihre Wärme über Wärmenetze verteilen.

Fällt in diesem Fall die KWK-Anlage in den Bereich des Emissionshandels, so wird die abgegebene Wärme benachteiligt: für die Emissionen aus den alternativen Einzelfeuerungen sind keine CO₂-Zertifikate erforderlich, während dies für die KWK-Wärme notwendig ist. Alternativ könnte an eine ständige Anpassung der Ökosteuern für die nicht dem Emissionshandel zugeordneten Bereiche gedacht werden.

2.4 Zielsetzung der europäischen Emissionshandels-Richtlinie

Der Emissionshandel oder das Emissions Trading (ET) gehören mit Joint Implementation (JI) und Clean Development Mechanism (CDM) zu den Flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls. Er ist sehr langfristig, d.h. auf einen unbegrenzten Zeitraum hin angelegt. Der erste nationale Allokationsplan muß bis zum 31. März 2004 publiziert und der Kommission vorgelegt werden.

2.4.1 Effiziente Technologie im NAP

Die europäische Emissionshandels-Richtlinie verlangt im Anhang III ausdrücklich, daß Angaben zum Einsatz von Effizienztechnologien gemacht werden.¹ Der Einsatz effizienter Technologien soll ausdrücklich befördert werden, wie auch aus der Abgrenzung zur Europäischen KWK-Richtlinie hervorgeht:

2.4.2 Abgrenzung zur europäischen KWK-Richtlinie

In der Einleitung zur europäischen Emissionshandelsrichtlinie wird eine eindeutige Abgrenzung zum Richtlinienentwurf zur KWK-Richtlinie vorgenommen: danach soll die Emissionshandels Richtlinie die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung als eine der effizientesten Technologien mit geringeren Emissionen pro Einheit Nutzenergie befördern, während die KWK-Richtlinie die Technologieentwicklung der KWK stützen soll.²

2.5 Anforderungen

Für die Regeln zur Behandlung der KWK im Nationalen Allokationsplan gelten die folgenden Anforderungen. Sie sollen

- das Kriterium ökonomischer und ökologischer Effizienz und damit maximaler Wirtschaftlichkeit honorieren
- transparent, trennscharf, einfach handhabbar und damit selbst effizient sein
- diskriminierungsfrei für alle (kommunale und industrielle) Anlagen gelten
- für die Überschreitung der 20 MW Grenze keine Benachteiligung darstellen
- eine unzulässige Doppelförderung insbesondere im Zusammenhang mit dem KWK-Gesetz vermeiden
- höchst effiziente Stromerzeugung ausgewogen belohnen, jedoch keine Technologieförderung darstellen
- kurz- und langfristig kompatibel zu den Regeln der anderen Teilnehmer am EH sein
- sicherstellen, daß trotz eines in der ersten Phase leicht erhöhten Zertifikatebedarfs später aufgrund der tatsächlichen Reduktionen ein höherer Erfüllungsfaktor erreicht wird, der wiederum zu einer Entlastung der Verbraucher und damit einem größeren Spielraum der energieintensiven Industrie führt
- Kraftwerke auf KWK-Basis, die effektiv und kostengünstig die Versorgungssicherheit verbessern können, angemessen im Regelwerk berücksichtigen.

¹ Im Annex III zum NAP (Jul2003) heißt es: „(8) The plan shall contain information on the manner in which clean technology, including energy efficient technologies, are taken into account.“

² Im Prefix (Jul2003) heißt es: „(19a) This Directive will encourage the use of more energy efficient technologies, including combined heat and power technology, producing less emissions per unit of output, while Directive 2003/.../EC [of ... concerning the promotion of CHP]* will specifically promote combined heat and power technology.“

3 Allokationsmodell

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen liefern grundsätzlich zwei Produkte:

- Wärme
- Strom bzw. mechanische Arbeit

Für beide Produkte erfolgt eine getrennte Allokation. Die Gesamtallokation A ist die Summe aus beiden Einzelallokationen:

$$A = A_Q + A_W \quad (3.1)$$

mit A_Q für die Wärme und A_W für Strom/Arbeit (W aus englisch *work*).

Grundsätzlich wird der gesamte Brennstoff der KWK-Anlage bei der Allokation berücksichtigt.

3.1 Wärme

Die Allokation für die Wärme A_Q wird berechnet über

$$A_Q = \frac{Q}{\eta_{Q \text{ ref}}} * f_{Br} * c_Q * EF \quad (3.2)$$

mit dem Referenzwirkungsgrad für die Wärmeerzeugung von $\eta_{Q \text{ ref}} = 0,9$.

Die der Wärme zuzuordnende Brennstoffleistung ergibt sich über den Term:

$$\dot{B}_Q = \frac{\dot{Q}}{\eta_{Q \text{ ref}}} \quad (3.3)$$

Abhängig von der Brennstoffleistung für die Wärme \dot{B}_Q wird über den Klassifizierungsfaktor c_Q bestimmt, ob die aus der Wärme resultierenden Emissionen im Emissionshandelssystem alloziert werden:

$$c_Q = 1 \quad \text{für} \quad \dot{B}_Q > 20 \text{ MW} \quad (3.4)$$
$$c_Q = 0 \quad \text{für} \quad \dot{B}_Q \leq 20 \text{ MW}$$

Es gilt zudem der für alle Teilnehmer am Emissionshandel gültige Erfüllungsfaktor EF .

Unabhängig davon bleibt eine Anlage mit über 20 MW Brennstoffwärmeleistung gesamt im Emissionshandelssystem, d.h. es gelten in jedem Fall die nachfolgenden Regeln für Strom.

3.2 Strom / mechanische Arbeit

Der Begriff Strom wird im folgenden als Synonym für die Summe aus Strom und mechanischer Arbeit genutzt.

Die Allokation A_W für den Strom erfolgt abhängig von der Effizienz η_W , mit der dieser Strom erzeugt wird. Die Effizienz ergibt sich aus dem abgegebenen Strom W und dem dafür benötigten Brennstoff B_W :

$$\eta_W = \frac{W}{B_W} \quad (3.5)$$

Der nur für die Stromerzeugung benötigte Brennstoff B_W ist die Differenz aus dem gesamten Brennstoff B und dem für die Wärme benötigten Brennstoff B_Q :

$$B_W = B - B_Q \quad (3.6)$$

Entsprechend Gleichung (3.3) ergibt sich damit als Effizienz für die Stromerzeugung:

$$\eta_W = \frac{W}{B - \frac{Q}{\eta_Q}} \quad (3.7)$$

Damit bestimmt sich auch der Emissionsfaktor Stromerzeugung f_W zu

$$f_W = \frac{f_B}{\eta_W} \quad \left[\frac{t}{MWh} \right] \quad (3.8)$$

3.2.1 Effizienzkriterien

Die Effizienz des Stromes ergibt sich durch Vergleich der Effizienz η_W mit einem Referenzwert der konventionellen Stromerzeugung $\eta_{W \text{ ref}}$. Dieser Referenzwert wird zu

$$\eta_{W \text{ ref}} = 0,575 \quad (3.9)$$

gesetzt. Er entspricht dem Wirkungsgrad eines großen GuD-Blocks. (s.a.Kapitel 4.17)

3.2.2 Effizienzklassen Strom

Für die Allokation werden durch Bezug auf den Referenzwert drei verschiedene Effizienz-Kategorien unterschieden:

- $\eta_W \geq (\eta_{W \text{ ref}} + \Delta_{W \text{ ref}})$ CatA: Höchsteffizienter Strom
- $\eta_{W \text{ ref}} < \eta_W < (\eta_{W \text{ ref}} + \Delta_{W \text{ ref}})$ CatB: sehr effizienter Strom
- $\eta_W \leq \eta_{W \text{ ref}}$ CatC: Strom ohne besondere Qualifikation

Mit $\Delta_{W \text{ ref}}$ als Abstand zum Referenzwert $\eta_{W \text{ ref}}$ für CatA-Strom:

$$\Delta_{W \text{ ref}} = 0,05 \quad (3.10)$$

3.2.2.1 CatA-Strom: höchst effizient

Der Wirkungsgrad dieses Stroms liegt 10 % über dem der besten, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerke, die mit aktuell verfügbarer Technologie gebaut werden können.

Dieser Strom verdrängt Strom aus älteren fossilen Kraftwerken, der mit höheren, über dem Durchschnitt liegenden spezifischen Emissionen erzeugt wird.

Alloziert wird für diesen Strom etwas weniger, als den Emissionen der de facto verdrängten, alten Kraftwerke entspricht, nämlich die verdrängte Emission auf durchschnittlicher Basis des fossilen Kraftwerkparks:

$$A_{W \text{ CatA}} = W * f_{W \text{ mix}} * EF \quad (3.11)$$

Der Faktor $f_{W \text{ mix}}$ entspricht dabei den durchschnittlichen, gewichteten spezifischen Emissionen des fossilen Kraftwerkparks.

Der Erfüllungsfaktor EF wird auch bei dieser Allokation berücksichtigt.

Diese Regelung gilt nur, wenn die Anlage keine sonstige Förderung zum Beispiel nach dem KWK-Gesetz erhält. Erhält die KWK-Anlage eine Förderung nach dem KWK-Gesetz, erfolgt die Allokation wie für jeden anderen Strom auch. Dies ist nachfolgenden für den CatC-Strom beschrieben.

3.2.2.2 CatC-Strom: ohne besondere Qualifikation

Dieser Strom wird entsprechend $\eta_W \leq \eta_{W \text{ ref}}$ mit einer Effizienz erzeugt, die unterhalb des Referenzwertes liegt. Es gilt daher die selbe Regelung, wie für Strom aus jedem anderen Kraftwerken auch: die gesamten, für seine Herstellung notwendigen Emissionen werden alloziert.

Da im Fall der Kraft-Wärme-Kopplung die Emission der Wärme bereits alloziert ist, kann sie jetzt von der gesamten Brennstoff-Allokation abgerechnet werden:

$$A_{W \text{ CatC}} = Br * f_b * EF - A_Q \quad (3.12)$$

Sie läßt sich auch direkt aus dem Strom und der Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs berechnen zu:

$$A_{W \text{ CatC}} = \frac{W}{\eta_W} * f_b * EF \quad (3.13)$$

Der Strom wird damit genau so bewertet, als würde er in irgend einem anderen fossilen Kraftwerk erzeugt.

3.2.2.3 CatB-Strom: sehr effizient

Strom der Kategorie CatB wird sehr effizient erzeugt.

Mit $\eta_{W\text{ ref}} < \eta_W < (\eta_{W\text{ ref}} + \Delta_{W\text{ ref}})$ stellt er eine proportionale Mischung zwischen CatA- und CatC-Strom dar und wird entsprechend berechnet:

$$A_{W\text{ CatB}} = A_{W\text{ CatC}} + \frac{\eta_W - \eta_{W\text{ ref}}}{\Delta_{W\text{ ref}}} * (A_{W\text{ CatA}} - A_{W\text{ CatC}}) \quad (3.14)$$

Wie für CatA-Strom gilt diese Regelung nur, wenn die Anlage keine sonstige Förderung zum Beispiel nach dem KWK-Gesetz erhält. Erhält die KWK-Anlage eine Förderung nach dem KWK-Gesetz, erfolgt die Allokation wie für den CatC-Strom.

3.2.3 Allokation Strom - Allgemeine Formel

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die drei unterschiedliche Stromkategorien vorgestellt. Für diese wird nachfolgend eine allgemeingültige Formel hergeleitet:

Die Effizienz der Stromerzeugung η_W wird über Gleichung (3.7) bestimmt. Mit den Gleichungen (3.5), (3.7), (3.11), (3.13) und (3.14) erhält man durch Umformen:

$$A_W = W * \frac{f_B}{\eta_W} * \left(1 + c_W * a * \left(\frac{f_{W\text{ mix}}}{f_B} * \eta_W - 1 \right) \right) * EF \quad (3.15)$$

Der in (3.14) vorhandene Proportionalterm wird durch den Faktor a übernommen. Die in allen Tabellenkalkulationsprogrammen vorhandenen Funktionen Min und Max begrenzen seinen Wert auf den Gültigkeitsbereich zwischen 0 und 1:

$$a = \text{MAX} \left(\text{MIN} \left(1; \frac{\eta_W - \eta_{W\text{ ref}}}{\Delta_{W\text{ ref}}} \right); 0 \right) \quad (3.16)$$

Der Klassifizierungsfaktor c_W verhindert eine Allokation nach CatA oder CatB, wenn die KWK-Anlage im entsprechenden Allokationsjahr gleichzeitig über das KWK-Gesetz gefördert wird. Es gilt:

$$c_W = 1 \quad \text{für Anlagen ohne KWK Förderung} \quad (3.17)$$

$$c_W = 0 \quad \text{für Anlagen mit KWK Förderung}$$

Um langfristig eine Benachteiligung aufgrund eines negativen Zuschlags auszuschließen, wird Gleichung (3.15) durch die Begrenzung des Terms auf positive Werte ergänzt:

$$b = \text{MAX} \left(\left(\frac{f_{W\text{ mix}}}{f_B} * \eta_W - 1 \right); 0 \right) \quad (3.18)$$

$$A_W = W * \frac{f_B}{\eta_W} * (1 + c_W * a * b) * EF \quad (3.19)$$

3.3 Ergänzende Regelungen

3.3.1 Grandfathering für Stromerzeugungsanlagen

Für Stromerzeugungsanlagen, denen im Rahmen eines Grandfathering Zertifikate aufgrund früherer Emissionen zugeteilt worden sind, gilt für jedes Kalenderjahr folgende Regelung:

1. Für jede der auf historischen Emissionen basierende Allokation wird auf Basis der historischen Emissionen und der damit verbundenen Stromerzeugung W_h der entsprechende Emissionsfaktor f_{wh} gebildet.
2. Für die jährliche Gesamtemission ist die entsprechende Zertifikatmenge C nachzuweisen und zu Entwertung abzugeben.
3. Für Anlagen, deren Stromerzeugung im aktuellen Kalenderjahr W_a weniger als 80% der auf das Jahr umgerechneten historischen Strommenge W_h beträgt, müssen zusätzlich Zertifikate C_m abgeführt werden, die sich wie folgt berechnen:

$$C_m = A_w * 0,8 - W_a * f_{wh} * 1,1 \quad (3.20)$$

Der Faktor 1,1 stellt dabei einen Zuschlag für den Teillastbetrieb dar.

4. Für negative Werte von C_m nach Gleichung (3.20) $C_m < 0$, wird C_m gleich Null gesetzt: $C_m = 0$
5. Die Behörde für den Emissionshandel führt C_m -Zertifikate dem nationalen Reservepool zu, aus dem u. a. Neuanlagen ausgestattet werden.

3.3.2 Brennstoffbesteuerung

Brennstoff, der im Emissionshandels-Regime alloziert wird, wird grundsätzlich von der Ökosteuer befreit.

Die aktuelle Form der Ökosteuer steht dem Reduktionsziel des Emissionshandels diametral gegenüber: auf stark kohlenstoffhaltige Brennstoffe wie Steinkohle und Braunkohle wird keine Ökosteuer erhoben, während Erdgas als kohlenstoffarmer Brennstoff belastet wird.

3.3.3 Stündliche Abrechnungsintervalle

Ergänzend und alternativ zu einer Bewertung der KWK-Effizienz über die jährliche oder monatliche Arbeit von Strom, Nutzwärme und Brennstoff soll auch eine Abrechnung im Stundentakt möglich sein.

So können flexible KWK-Anlagen temporär aus dem Betrieb z.B. in der höchsten Effizienzklasse CatA herausgenommen werden und statt dessen in CatB oder sogar CatC betrieben werden. In dieser Zeit fallen zwar weniger handelbare Zertifikate an, dafür kann der Betreiber aber an der Spitzenstromerzeugung mit höheren Strompreisen teilhaben.

Dies führt zu einer zusätzlichen Wertschöpfung für die Betreiber von KWK-Anlagen. Aufgrund des nach wie vor bestehenden partiellen KWK-Betriebes wird diese Art von Spitzenstromerzeugung zudem mit vergleichsweise sehr niedrigen Emissionen erfolgen und kann damit beim Monitoring der Selbstverpflichtung der Industrie kreditiert werden.

Das Zeitintervall von einer Stunde ist zudem kompatibel zum börsenorientierten Stromhandel. Zusätzlicher Meßaufwand für industrielle Anlagen ist nicht gegeben. Aufgrund der Automatisierung ist dies auch nicht für die Abrechnung zu erwarten.

4 Erläuterungen

Nachfolgend werden die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Regelungen weitergehend erläutert. Ein besonderer Fokus liegt dabei noch einmal auf der Bedeutung der Brennstoffneutralität.

4.1 Aufteilung Wärme und Strom

Zwingend erscheint die Aufteilung der Allokation für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf die Produkte Wärme und Strom. Nur so lassen sich die beschriebenen Eigenschaften erzielen.

Nachteile sind aus dieser Aufteilung nicht zu erkennen. Es wird grundsätzlich der gesamte Brennstoff alloziert. Ein unzulässiges Opt Out in Form einer unbegrenzten Allokation in Höhe des jeweiligen Bedarfes findet nicht statt. Die Regelung für Wärme unter 20 MW verhindert lediglich unzulässige Nachteile für KWK-Anlagen in dieser Leistungs-kategorie.

4.1.1 Abgabe Zertifikate nach § 12 Abs. 3

Der Anlagenbetreiber gibt entsprechend § 12 Abs. 3 der EU-Emissionshandels-Richtlinie die für den Brennstoff im vorangegangenen Jahr benötigten Zertifikate jeweils für Wärme und Strom ab.

Nur ein Betreiber mit einem Bruttowärmebedarf < 20 MW (entsprechend $c_w = 0$ in Formel (3.4)) ist von der Abgabe für Zertifikate für die Wärme befreit.

4.2 Kategorien

Die Aufteilung des Stroms in verschiedene Effizienzklassen dient dem Ziel einer Schaffung höchsteffizienter Kraftwerke.

Die Effizienz des Stroms wird in drei Klassen unterschieden, wobei CatA die Kategorie höchster Effizienz darstellt. Dieser Strom führt zu den höchsten Emissionsreduktionen.

Um eine hohe Wirtschaftlichkeit beim Erreichen der gewünschten Emissionsreduktionen zu erzielen, kann insbesondere in Hochlastzeiten auch die Stromproduktion nach CatB oder CatC wünschenswert sein. Dabei ist zu bedenken, daß bereits CatB-Strom die Effizienz jedes anderen technisch verfügbaren, nicht in KWK betriebenen Kraftwerkes mit fossilen Brennstoffen übersteigt. Die Produktion führt daher auch zu entsprechend hohen CO₂-Reduktionen.

Auch CatC-Strom kann mit Wirkungsgraden von über 50% weit über dem allgemeinen Kraftwerksmix liegen. Die Allokationsregeln gewährleisten, daß dieser Strom dennoch keine unzulässigen Vorteile gegenüber anderen Kraftwerken erhält, da er eben nicht die Bedingung für CatA erfüllt.

4.3 Sicherstellung des KWK-Reduktionspotentials

Zur Erreichung des nationalen Reduktionszieles kann weder auf vorhandene KWK noch auf den Ausbau weiterer KWK verzichtet werden.

Auch die Selbstverpflichtung der Industrie ist ohne KWK nicht einzuhalten. Der VIK hat aus diesem Grunde bereits vor längerer Zeit gefordert, der KWK unbegrenzt die notwendigen Zertifikate kostenlos zuzuteilen.

Die hier vorgeschlagene Lösung geht über diesen Ansatz hinaus und dürfte aufgrund der dargelegten Gründe langfristig sowohl für KWK-Betreiber als auch für überwiegende Stromverbraucher die deutlich wirtschaftlichere Variante darstellen.

Sie antizipiert zudem den möglichen Einwand, daß eine unbegrenzte Zuteilung von Zertifikaten de facto einem opt out entspricht.

Für die Förderung von neuen großen KWK-Anlagen nach dem KWK-Gesetz ist die Frist für die Stellung von Anträgen nach dem BImSch-Gesetz bereits am 31.3.2003 abgelaufen. Sie müssen zudem bis zum 31.12.2005 in Betrieb gehen. Viele existierende industrielle Anlagen fallen zudem nicht unter das aktuelle KWK-Gesetz, wenn sie nicht direkt in ein öffentliches Netz einspeisen. Um daher die bestehenden KWK-Potentiale zu nutzen und neue zu erschließen, sollte die Chance einer Anschlußregelung durch das hier vorgeschlagene Allokationsmodell für hocheffiziente Stromerzeugung genutzt werden.

4.4 Angemessene Anreizwirkung

Eine einfache Abschätzung zeigt, daß die Anreizwirkung für höchsteffizienten CatA-Strom angemessen ist.

Unter den in Tabelle 5.1 für den Basis Fall (Spalte D) getroffenen Annahmen mit einem angenommenen Handelspreis von 10.00 €/tCO₂ ergibt sich ein Vorteil für die CatA-Stromerzeugung von 5.51 €/MWh oder 0.55 cent/kWh.

Die Förderung für modernisierte Anlagen nach dem aktuellen KWK-Gesetz für das Jahr 2008 ist mit 16.40 €/MWh etwa dreimal so hoch, endet jedoch im Jahr 2010. Das Emissionshandelssystem ist dagegen auf einen unbegrenzten Zeitraum angelegt.

Der Ausbau der KWK aufgrund des KWK-Gesetzes fiel sehr bescheiden aus. Die Anreizwirkung des hier präsentierten Modells für die höchsteffiziente Stromerzeugung liegt daher trotz des längeren Zeitraumes eher am unteren Bereich der Wirksamkeit.

Im Gegensatz zu anderen Modellen dürfte der Anreiz allerdings noch groß genug sein, um überhaupt Wirkung zu zeigen.

Die Anreizwirkung kann daher als moderat und angemessen bezeichnet werden.

4.5 Langfristige Anpassung

Die Regelung für CatA-Strom wird zu einer schnelleren Zunahme des Anteils hocheffizienter Kraftwerke im Gesamtpark führen. Dadurch werden die durchschnittlichen spezifischen Emissionen $f_{W\text{ mix}}$ sinken. Langfristig nähern sie sich asymptotisch einem niedrigen Grenzwert. Die besonderen Anreize für CatA-Strom nehmen damit wieder ab.

Dies stellt eine gewünschte, automatische Anpassung an einen zunehmend effizienteren Kraftwerkspark dar.

4.6 Trennschärfe und Handhabung

Das Effizienzkriterium „Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs“ ist bereits in das Modell integriert. Völlig technologieunabhängig und trotzdem sehr präzise läßt sich darüber feststellen, ob der erzeugte Strom mit höherer Effizienz als in entsprechenden Referenzkraftwerken erzeugt wird. Die Berechnung basiert auf den ohnehin bekannten Größen

- Nutzwärme
- elektrische/mechanische Arbeit
- Brennstoffbedarf.

Dieses Effizienzkriterium garantiert eine wesentlich höhere Trennschärfe als vereinfachende Modelle, die sich an Durchschnittswerten orientieren. Aufgrund der wenigen Einflußgrößen Brennstoffbedarf, Strom- und Wärmeproduktion erlaubt das vorgeschlagene Modell dennoch eine sehr einfache Handhabung.

Zudem ist das Kriterium sehr transparent: über die Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs wird - wie in jedem anderen Kraftwerk auch - direkt die spezifische CO₂-Emission der Stromerzeugung in KWK-Anlagen berechnet. Diese kann dann direkt mit den spezifischen Emissionen anderer Kraftwerke verglichen werden.

Wie schon in Kap. 2.4.2 ausgeführt, wird in der Einleitung zur europäischen Emissionshandelsrichtlinie eine eindeutige Abgrenzung zum Richtlinienentwurf der KWK-Richtlinie vorgenommen: danach soll die Emissionshandels Richtlinie die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung als eine der effizientesten Technologien mit geringeren Emissionen pro Einheit Nutzenergie befördern.

Vorrangiges Ziel des Emissionshandels ist die kostengünstigste Reduktion von CO₂-Emissionen. Dies ist häufig mit einer Primärenergieeinsparung verbunden, diese selbst stellt jedoch nicht das primäre Ziel des Emissionshandels dar sondern die damit verbundenen CO₂-Emissionen. Auch eine besondere Technologieförderung ist nicht das Ziel des Emissionshandels. Es kommt ausschließlich auf die Erzielung geringster CO₂-Emissionen pro Produktionseinheit (hier Strom) an.

Wenn daher für höchst effiziente Stromerzeugung besondere Anreizwirkungen vergeben werden, sollten diese bezogen auf die reduzierte CO₂-Menge gleich sein.

4.7 Referenzsystem und Vergleichskraftwerk

Als Referenzsystem ist der fossile Kraftwerksmix gewählt ($f_{W\text{ mix}}$ in Tabelle 5.1 Zeile 11). Dieser Wert dient auch als Benchmark für CatA-Strom.

Die tatsächlichen Einsparungen orientieren sich allerdings nicht am Durchschnitt. Die Einspeisung von CO₂-armem Strom führt vielmehr dazu, daß ein anderes (Vergleichs-) Kraftwerk zurückgefahren oder außer Betrieb genommen wird ($f_{W\text{ Vergl.}}$ in Tabelle 5.1 Zeile 33). Der Wegfall der Emissionen dieses Vergleichskraftwerkes bestimmt die wirklich realisierten Einsparungen (grüne Fläche in Bild 4.1). Die spezifischen Emissionen dieses meist älteren Vergleichskraftwerkes liegen i.A. über dem Durchschnitt des Kraftwerksmixes.

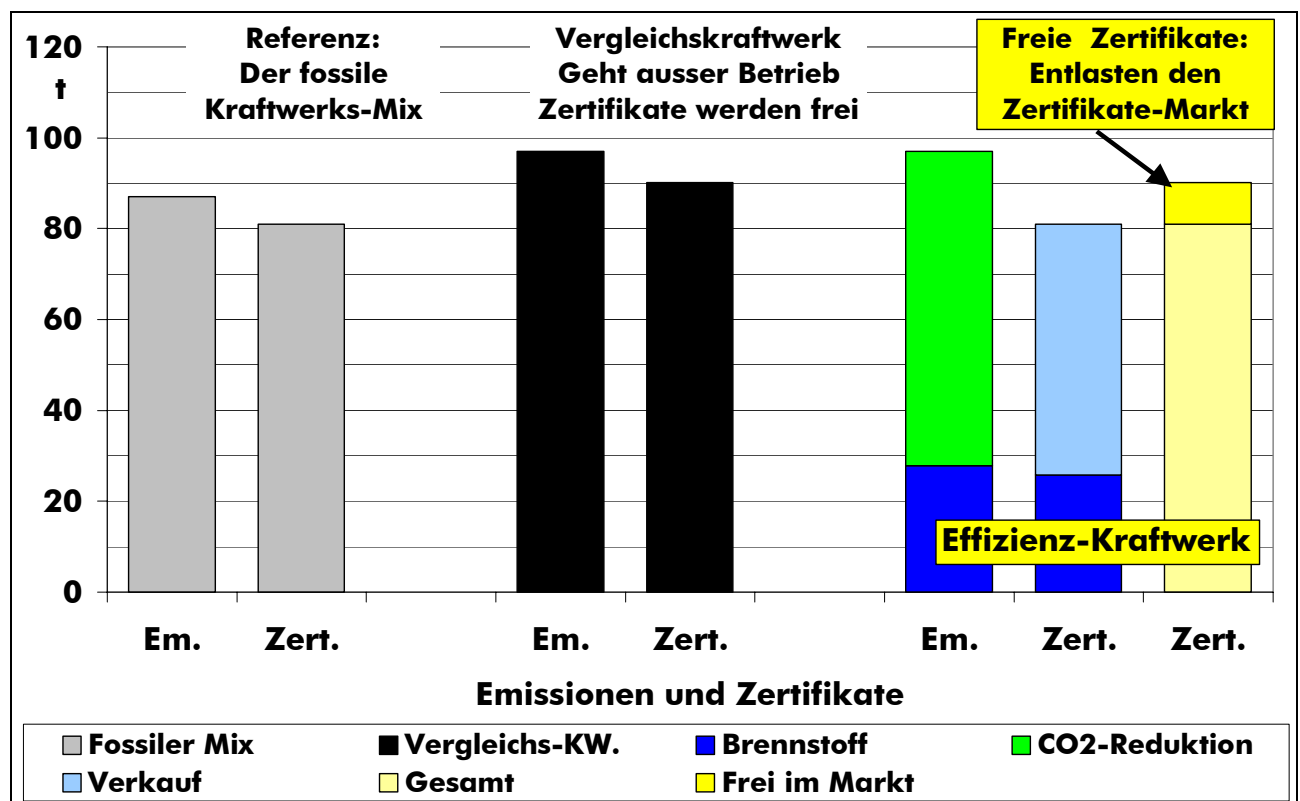


Bild 4.1 Bilanz der Emissionen und Zertifikate bei der Allokation von höchsteffizientem Strom

Trotz gegebener Anreizwirkung für das Effizienzkraftwerk bleiben aufgrund der Außerbetriebnahme des Vergleichskraftwerkes schon in der aktuellen Handels-Periode freie Zertifikate im Markt übrig. Die hohen realisierten CO₂-Reduktionen führen in der nächsten Abrechnungsperiode zu einer deutlichen Entlastung des Erfüllungsfaktors.

(Datenbasis: s. Tabelle 5.1 Spalte D)

Wird als Emissionsfaktor für das Vergleichskraftwerk der Durchschnitt des fossilen Kraftwerksparks eingesetzt, so erhält unabhängig vom KWK-Kraftwerk jede Tonne eingespartes CO₂ die gleiche Anreizwirkung. Liegen die spezifischen CO₂-Emissionen des Vergleichskraftwerkes jedoch höher als der Kraftwerksmix, so nimmt die spezifische Anreizwirkung mit zunehmender Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs leicht zu.

Dieser Effekt folgt aus der Berechnungssystematik³ und stellt ein gewünschtes, positives Signal zum Bau effizienterer Anlagen dar.

4.8 Brennstoffneutralität

Auch beim Vergleich von gasgefeuerten mit kohlegefeuerten Anlagen liegen im vorgestellten Modell die auf die CO₂-Reduktion bezogenen Anreize in der gleichen Größenordnung (Tabelle 5.2, Zeile 44 u. 45). Wird die spezifische Emission des Vergleichskraftwerkes gleich der des Kraftwerksmixes gesetzt, so sind die Anreize auch hier bei unterschiedlichen Brennstoffen identisch. Das vorgestellte Modell ist damit absolut brennstoffneutral.

Bild 4.2 zeigt die Emissionen und Zertifikate bei der Allokation eines hocheffizienten Kohle-KWK-Kraftwerkes. Hier sind ist eine differenzierte Betrachtung notwendig.

Für existierende Anlagen und Anlagen, die eine kohlegefeuerte Wärmeversorgungsanlage ersetzen, führen die realisierten CO₂-Reduktionen zu einer deutlichen Entlastung des Erfüllungsfaktors. Die gegenüber Gasanlagen höhere Wärme-Allokation ist bereits im Allokationsplan und damit im Erfüllungsfaktor berücksichtigt.

Wird eine gasgefeuerte Wärmeversorgung durch eine Kohle-KWK-Anlage ersetzt, so ist für die Wärme deutlich mehr zur allozieren (Tabelle 5.2, Z. 17). Dieser zusätzliche Beitrag ist noch nicht im Allokationsplan berücksichtigt. Er ist i.A. höher als zusätzlich im Markt frei werden. Der Zertifikatemarkt wird daher leicht belastet und nicht entlastet .

Will man diese Einschränkung vermeiden, muß der für das Substitutionsprinzip geltende Emissionsfaktor des fossilen Kraftwerksmixes $f_{w\ mix}$ um die entsprechende Allokationsmenge reduziert werden. Bild 4.2 zeigt diesen Fall.

³ Die Zunahme der CO₂-bezogenen Anreizwirkung für effizientere Kraftwerke ist folgendermaßen zu erklären: bei gleichen Emissionsfaktoren des Vergleichskraftwerkes (Tabelle 5.1 Zeile 33) und des fossilen Kraftwerksmixes (Tabelle 5.1 Zeile 11) sind auch die entsprechenden absoluten CO₂-Emissionen des Vergleichskraftwerkes und des Kraftwerksmixes gleich (Tabelle 5.1 Zeilen 34 u. 31). Dies gilt auch für die daraus resultierenden CO₂-Reduktionen.

Ist der Emissionsfaktor des Vergleichskraftwerkes jedoch höher, so steigen auch dessen Emissionen entsprechend proportional an. Die Emissionen aus der Stromerzeugung des Effizienz-Kraftwerkes sind gleichgeblieben. Die resultierenden CO₂-Reduktionen steigen daher überproportional an.

Die Verringerung der CO₂-Emissionen durch die Effizienzanlage geht in beiden Fällen mit dem gleichen absoluten Betrag in die jeweilige CO₂-Reduktion ein. Sie wirkt sich daher aufgrund der überproportionalen Erhöhung durch das Vergleichskraftwerk im Betrag der Gesamtreduktionen unterproportional aus. Diese Unterproportionalität führt zu einer leichten Steigerung der CO₂-bezogenen Anreizwirkung.

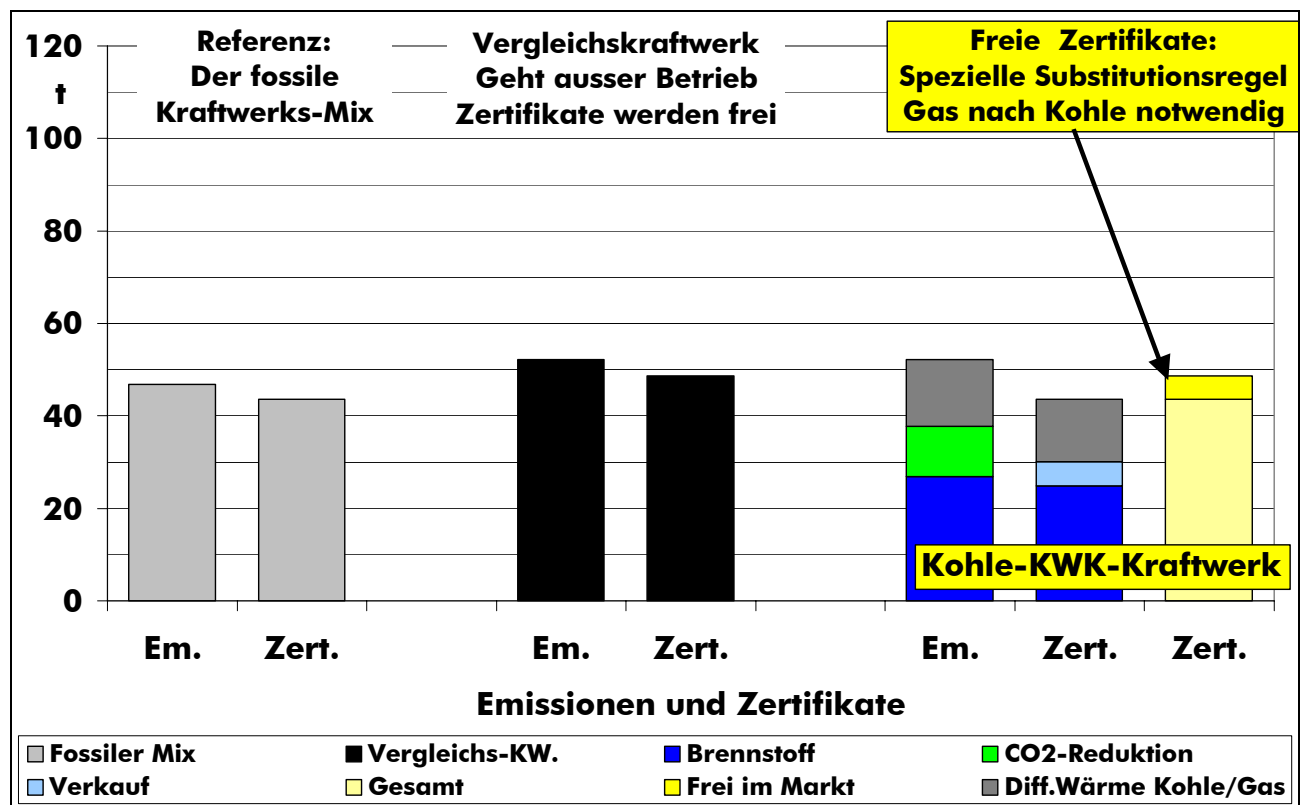


Bild 4.2 Emissionen und Zertifikate bei der Allokation von höchsteffizienten Strom aus einer Kohle-KWK-Anlage mit gleicher Wärmeleistung wie in Bild 4.1

Fossiler Kraftwerks-Mix als Benchmark für die Zertifikate-Zuteilung

Die Fläche „Diff.Wärme Kohle/Gas“ verdeutlicht die in der Wärmeerzeugung zusätzlich freiwerdenden Emissionen beim Wechsel von Gas auf Kohle sowie eine entsprechende Anpassung des Substitutionsprinzips.

(Datenbasis s. Tabelle 5.2 Spalte F)

4.8.1 Abgrenzung zum Primärenergieeinsparungsmodell

Die in diesem Gutachten vorgeschlagenen Regeln führen dazu, daß pro eingesparter Tonne CO₂ gleiche Anreizwirkungen entstehen. Pauschale Emissionsfaktoren bezogen auf die Primärenergieeinsparung haben dagegen zur Folge, daß pro tatsächlich eingesparter Tonne CO₂ sehr unterschiedliche Anreize vergütet werden.

Ein Modell auf Basis Primärenergieeinsparung würde kohlegefeuerten Anlagen bezogen auf die CO₂-Reduktion deutlich mehr Zertifikate zuteilen (Zeilen 53-54). Im Gegensatz zum hier vorgestellten Modell ist das Primärenergieeinsparungsmodell - obwohl es auf den ersten Blick anders scheinen mag - daher nicht brennstoffneutral!

Besonders auffällig wird dieses Verhalten, wenn die Effizienz des Kraftwerksparks und auch des Vergleichskraftwerkes zunehmen und damit die entsprechenden Emissionsfaktoren sinken. Wählt man z.B. für die spezifische Emission des Kraftwerksparks und des Vergleichskraftwerkes (in Tabelle 5.2 Zeilen 11 u. 33) den Wert von

$f_{W\text{ mix}} = f_{W\text{ Vergl.}} = 0,5 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ (aus $0,20\text{tCO}_2/\text{MWh} / 40\%$), so sinken die tatsächliche

CO₂-Einsparung und auch die Menge verkaufbarer Zertifikate nach dem hier vorgestellten Modelle auf 0,1 t CO₂. Da pro Tonne CO₂ wird der gleiche Zuschlag gewährt, nimmt auch die entsprechende Anreizwirkung bis auf einen verschwindenden Betrag ab. Das Primärenergieeinsparungsmodell (PEE) gewährt dagegen nach wie vor den vollen Zuschuß für eine fast nicht mehr vorhandene Einsparung. Damit würden über 700 €/t CO₂ als Zuschlag gewährt.

Die durch das PEE-Modell zusätzlich zugeteilten Zertifikate belasten den Markt und treiben damit die Preise nach oben, ohne für nachhaltige CO₂-Einsparungen zu sorgen. Das PEE-Modell ist daher zu Erzielung von Kosteneffizienz und niedrigen Preisen für Stromverbraucher kontraproduktiv.

4.9 Grandfathering und Anreize für neue Anlagen

Die Konzipierung des deutschen Nationalen AllokationsPlans (NAP) basiert auf dem Prinzip des Grandfathering.

Die Unternehmen erhalten eine kostenlose Ausstattung mit Zertifikaten abhängig von ihren bisherigen zeitnahen Emissionen. Damit soll ihnen ermöglicht werden, ihre Geschäfte zunächst weitestgehend ungehindert fortführen zu können. Aufgrund des Erfüllungsfaktors notwendige Anpassungen sollen dabei marktwirtschaftlich optimiert zu geringsten Kosten durchgeführt werden.

Ziel der kostenlosen Ausstattung ist jedoch nicht, den Empfängern aufgrund ihrer bisherigen Unternehmungen einen Wettbewerbsvorteil zu sichern. Etablierten und neuen Marktteilnehmern müssen vielmehr gleiche Marktchancen gewährt werden.

Dies ist der Grund für die in Kap. 3.3.1 vorgestellte Regel: solange Kraftwerke in gleichem Maße wie früher betrieben werden, bleibt ihnen die auf historischen Emissionen basierende kostenlose Zuteilung von Zertifikaten in vollem Umfang erhalten. Dies gilt ebenfalls, wenn die jährlich abgegebene Strommenge deutlich zurückgeht: auch für diesen Betriebsfall erhalten sie für den Betrieb mehr als ausreichende Zertifikate, aber nur die für den Betrieb notwendigen einschließlich Reservezuschlag (20%). Auch mögliche höhere spezifische Emissionen durch Teillastbetrieb sind durch einen Faktor berücksichtigt.

Lediglich für den Betrieb tatsächlich nicht mehr benötigte Zertifikate müssen in den Reservepool zurückgeführt werden. Damit wird ein ungerechtfertigter Wettbewerbsvorteil für diese Betreiber verhindert.

4.9.1 Stilllegungen

Durch dieses Rückführungsprinzip wird auch die gesamte Stilllegungsproblematik einschließlich möglicher Scheinstillegungen elegant gelöst. Vor allem aber stehen besonders für höchsteffiziente neue Anlagen ausreichende Zertifikate über den Reservepool zur Verfügung.

4.9.2 Prinzip der Gleichbehandlung

Viele Betreiber erhalten über das Grandfathering für ältere Kraftwerke⁴ eine deutlich höhere Allokation, als dem Durchschnitt des fossilen Kraftwerkparks entspricht. Höchst-effizientem CatA-Strom wird nach dem hier vorgestellten Benchmark-Ansatz genau der Durchschnitt des fossilen Kraftwerkparks und damit weniger als vielen alten Anlagen mit hohen spezifischen Emissionen alloziert. Die resultierenden hohen CO₂-Reduktionen durch den Zubau von höchsteffizienten Anlagen führen bereits in der aktuellen Handelsperiode zu einem Überschuß an Zertifikaten und in der nächsten Periode zu einem höheren Erfüllungsfaktor. (s. a. Bild 4.1)

Stromverbraucher werden dadurch über niedrigere Strompreise entlastet. Dies gilt ebenso für andere Teilnehmer am CO₂-Zertifikatemarkt, die kein Kraftwerk betreiben, da die Marktpreise durch die freiwerdenden Zertifikate sinken werden. Selbst für andere Betreiber von Kraftwerken mit höheren spezifischen Emissionen sind die niedrigeren Zertifikatspreise von Vorteil, da sie ihre Anlagen länger wirtschaftlich betreiben können.

Die Zuteilung nach dem Benchmark-Ansatz für Erzeuger von höchsteffizientem CatA-Strom stellt daher als intelligentes und notwendiges Korrektiv zu den noch höheren Zuteilungen an die Betreiber älterer Anlagen mit hohen spezifischen Emissionen dar.

Aktuellen und neuen Marktteilnehmern eröffnet das vorgeschlagene Allokationsmodell die Möglichkeit, am Wertschöpfungsprozeß der CO₂-Minderung gleichermaßen teilzuhaben. Damit erscheint die hier vorgeschlagene Allokation und die Anwendung des Benchmarkprinzips auf höchsteffizienten CatA-Strom auch unter Verteilungsgesichtspunkten notwendig und gerechtfertigt.

4.10 Unterschiedliche KWK-Kraftwerkstypen

Ziel des Emissionshandels im Bereich Stromerzeugung ist die Nutzung effizientester Technologie mit niedrigsten Emissionen zu geringsten noch Kosten und nicht die Beförderung der KWK-Technologie selbst. Wenn die KWK dieses Ziel erfüllt, soll sie als Effizienztechnologie Anreize erhalten. (s.a. Kapitel 2.4.2)

Der angegebene Referenzwirkungsgrad $\eta_{W,ref} = 0,575$ aus Gleichung (3.9) kann in Kraftwerken ohne Kraft-Wärme-Kopplung nur mit GuD-Technologie erzielt werden. Mit allen KWK-Technologien ist jedoch leicht das Kriterium der „Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs“ zu erfüllen bzw. ein ausreichender KWK-Wirkungsgrad zu erzielen. (s.a. Kap. 5.2)

⁴ Einige Stimmen weisen darauf hin, daß diese Kraftwerkskapazitäten über viele Jahrzehnte in einer monopolistischen Marktstruktur aufgebaut wurden. Den Kraftwerksbetreibern wurden dabei über Aufsichtsbehörden aufgrund ihrer Kostenangaben gesicherte Strompreise zugestanden. Die Kraftwerke wurden daher nicht im freien Wettbewerb in Eigenleistung gebaut sondern über gesicherte Einnahmen über die Stromkunden finanziert.

Dieses Recht wurde den Stromversorgungsunternehmen vom Staatssouverän gewährt, um eine sichere Stromversorgung gewährleisten zu können. Es dürfe jedoch nicht sein, daß aus diesem in der Vergangenheit gewährten Recht nun Nachteile für neue Marktteilnehmer entstehen. Die auf historischen Emissionen basierenden Allokationen nach dem Grandfathering-Prinzip hätten einen erheblichen Wettbewerbsvorteil zur Folge.

Schwierigkeiten kann es ggf. bei reinen Gasturbinenprozessen mit Abhitzekessel gegeben, wenn gleichzeitig Hochtemperaturwärme ausgekoppelt wird und kein Bedarf an Niedertemperaturwärme besteht. Liegt in diesem Fall der KWK-Wirkungsgrad kleiner als der Referenzwirkungsgrad $\eta_w \leq \eta_{w\text{ref}}$, so wird nach Kapitel 3.2.2 CatC-Strom erzeugt.

Eine ähnliche Problematik kann sich beim Einsatz von Mikro Gasturbinen ergeben, insbesondere wenn Nutzwärme auf einem höheren Temperaturenniveau eingesetzt werden soll.

Mit Dampfturbinenprozessen lassen sich die geforderten Wirkungsgrade in der Regel problemlos erreichen. Die notwendigen Kesselwirkungsgrade können z.B. durch Einsatz von rekuperativer Verbrennungsluftvorwärmung erzielt werden.

Grundsätzlich gilt: CatC-Strom kann ebenfalls bezüglich der spezifischen CO₂-Emission erheblich unter dem Durchschnitt des Kraftwerksparks liegen. Die Erzeugung von derartigen Strom führt daher ebenfalls zu deutlichen CO₂-Einsparungen. Da für diesen Strom weniger alloziert werden muß, hat er Wettbewerbsvorteile im Markt. Eine Aufnahme in das Substitutionsprinzip und damit monetäre Vorteile für Strom, der mit der gleichen Effizienz wie ein kommerzielles Großkraftwerk erzeugt wird, erscheinen jedoch nicht angemessen.

4.11 Budget CO₂-Zertifikate

Im hier vorgeschlagene Modell

- werden nur die effizientesten Anlagen gefördert
- liegen die spezifischen Anreize nur etwa bei einem Drittel der Werte des aktuellen KWK-Gesetzes
- erhalten nur die Anlagen einen zusätzlichen Anreiz, die nicht nach dem aktuellen KWK-Gesetz gefördert werden
- werden Anlagen, die nach dem aktuellen KWK-Gesetz gefördert werden, erst nach 2010 zusätzliche Allokation erhalten. In den meisten Fällen wird für diese Anlagen erst bei einem Handelspreis über 30 € / t CO₂ ein Umschwenken auf das Emissionshandelssystem attraktiv.

Es ist daher nur eine begrenzte Menge an Zertifikaten für den Reservepool vorzuhalten.

Die Begrenzung auf ein definiertes Reduktions-Budget, wie dies an anderer Stelle vorgeschlagen wird, entspricht nicht ganz dem Sinn des Emissionshandelssystems. Vielmehr sollten Anreize geschaffen werden, um einen möglichst einfachen Wechsel zu niedrigsten Kosten zu ermöglichen.

4.12 Anwendung des Benchmarkprinzips

Die vorgestellten Regelungen ergänzen das Grandfathering Prinzip im Fall der höchst-effizienten Stromerzeugung um einen Benchmarkansatz. Dies wird in den europäischen Ausführungsrichtlinien ausdrücklich als Möglichkeit hervorgehoben⁵. Obwohl im Moment ein allgemeiner Benchmarking-Ansatz noch nicht als praktikabel angesehen wird, empfiehlt die Kommission für die weitere Entwicklung die Überprüfung dieses Instruments auf Eignung.⁶

Die EU-Richtlinie weist ausdrücklich darauf hin, daß die Zuteilung von Emissionsrechten für jede Aktivität abhängig von den durchschnittlichen Emissionen sein darf⁷.

Die konkrete Reduktion von Treibhausgasen durch Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung kann natürlich nicht genau angegeben werden. Wie insbesondere Bild 5.1 zeigt, sind die CO₂-Reduktionen durch KWK erheblich. Die Technologie kann daher in den Katalog der besten verfügbaren Technologien aufgenommen werden. Für diese ist ein genauer Nachweis der tatsächlichen Reduktionen nicht erforderlich.⁸

Die Bewertungsmethodik zur Reduktion der Treibhausgase soll durch die Mitgliedstaaten bevorzugt durch eine dazu angefertigte Studie aber auch durch Sekundärliteratur dargelegt werden⁹. Für die Kraft-Wärme-Kopplung soll dieses Gutachten mit dazu beitragen, die Zusammenhänge darzulegen.

⁵ EU-NAP-Guidance Nov2003, 29., It makes explicit the possibility for Member States to use benchmarks by product in each activity and achievable progress in each activity. Under a benchmarking approach, an average of emissions per unit of output would be established, and allocations made on the basis of historic, current or expected output quantities. An installation that had lower emissions per unit of output would be given more allowances in relation to current emissions than installations whose emissions were higher per unit of output.

⁶ EU-NAP-Guidance Nov2003, 31., Pursuant to Article 30(2) of the Directive, the Commission should consider in a future review the practicality of developing Community wide benchmarks as a basis for allocation. The Commission notes that the legislators do not consider the application of Community-wide benchmarks to be practicable for the first national allocation plan.

⁷ EU-NAP-Guidance Nov2003, 2.1.3. Criterion (3) – Potential to reduce emissions, ... Member States may base their distribution of allowances on average emissions of greenhouse gases by product in each activity and achievable progress in each activity.

⁸ EU-NAP-Guidance Nov2003, 40., may make use of best available techniques reference documents (BREFs) when assessing the potential of activities. A "best" available technique is defined as a technique, which is "most effective in achieving a high general level of protection of the environment as a whole". Therefore, there is not necessarily full coherence between the use of a best available technique and the performance of an installation in terms of covered emissions.

⁹ EU-NAP-Guidance Nov2003, 41. In the national allocation plan, a Member State should describe the methodology it has used to assess the potential to reduce emissions. It should preferably base the assessment of the potential on a study made for the purpose of the national allocation plan. In case circumstances and timing do not allow for such a study in the process of elaborating the national allocation plan, recent existing assessments and secondary sources may be used (e.g. peer-reviewed studies, ...). A Member State should indicate sources used and summarise the applied methodology (including major assumptions made) and results.

4.12.1 Keine Beihilfe

Das vorgeschlagene Modell erfüllt nicht den Tatbestand der Beihilfe. Dazu müßten Mittel aus staatlichen Ressourcen eingesetzt werden¹⁰. Dies ist jedoch hier keineswegs der Fall. Es werden vielmehr Zertifikate innerhalb des Handelssystems nach einem Benchmark-System verwendet. Daher sind dem Staat auch keine Mittel zuzurechnen.

Selbst wenn der Tatbestand der Beihilfe erfüllt wäre - die oben dargelegten Argumente sprechen jedoch eindeutig dagegen - müßte sie als zulässig erachtet werden: sie wäre dem zu erreichenden Ziel der CO₂-Reduktion angemessen und ihrem Einsatz stünde ein adäquater ökologischer Gewinn gegenüber. Auch hätte sie eine Anreizwirkung und würde nicht mit anderer Beihilfe in einer unzulässigen Weise kumuliert, die den Interessen der Gemeinschaft entgegenstehen¹¹. Die gleichzeitige Förderung nach dem KWK-Gesetz wird ausgeschlossen.

Vielmehr handelt es sich um eine typische Benchmark-Regelung: als Benchmark dient der spezifische Durchschnitt des fossilen Kraftwerksparks $f_{W\text{ mix}}$.

Das "Produkt" höchsteffizienter Strom wird mit dem Emissionsfaktor $f_{W\text{ mix}}$ gewichtet und entsprechend alloziert. Da für die realen Emissionen aus dem benötigten Brennstoff weniger Zertifikate benötigt werden, entsteht durch den Verkauf der nicht nachzuweisenden Zertifikate ein Incentive für den Einsatz dieses hocheffizienten „Instrumentes“ mit niedrigsten Emissionen pro "Produktionseinheit".

Dies ist die typische Wirkungsweise einer Benchmarkregelung.

4.13 Keine Doppelförderung

Über den Faktor c_w ist ausgeschlossen, daß KWK-Anlagen sowohl nach dem KWK-Gesetz gefördert werden und gleichzeitig zusätzliche Zertifikate für hoch-effizienten Strom innerhalb des Emissionshandels erhalten.

4.14 Gleichbehandlung Kommunal / Industriell

Die zusätzliche Allokation für höchsteffizienten Strom oder mechanische Arbeit erfolgt unabhängig davon, wo dieser Strom eingesetzt wird. Kommunale und industrielle Marktteilnehmer werden daher durch das vorgeschlagene Modell gleichbehandelt. Ein erheblicher Nachteil des aktuellen KWK-Gesetzes ist damit nicht mehr existent.

¹⁰ EU-NAP-Guidance Nov2003, 56. In order to constitute State aid, a measure has to favour certain undertakings or the production of certain goods, distort or threaten to distort competition and affect trade between Member States. In addition, a measure has to involve State resources and it must be shown that the measure is imputable to the State.

¹¹ 59. An environmental aid can be found compatible with State aid rules if the aid is proportionate to the objective to be achieved. To this effect, a beneficiary of aid is requested to deliver an environmental counterpart, which is reasonably proportionate to the aid it receives. In addition, the aid has to have an incentive effect, and cannot be cumulated with other aid to an extent contrary to the Community interest.

4.14.1 Angemessenes Grandfathering

Von entscheidender Bedeutung für einen effektiven und kostengünstigen Wechsel zu einem neuen System sind faire Markteintrittsbedingungen für neue Teilnehmer.

Die hier dargestellten Probleme sind typisch für ein Grandfathering-System, existieren jedoch nicht in einem auf Auktionen basierenden Emissionshandelssystem. Das Grandfathering wird unter anderem deswegen favorisiert, weil es insbesondere unter den bereits existierenden Marktteilnehmern maximal konsensfähig scheint.

Die den Marktteilnehmern im Rahmen des Grandfathering zugeteilte Allokation wird ihnen eine Fortsetzung ihrer Produktion weitgehend im bisherigen Rahmen ermöglichen. Es ist jedoch nicht beabsichtigt, ihnen einen unberechtigten Marktvorteil gegenüber neuen Marktteilnehmern zu verschaffen.

4.15 Flexibilität

Das System ermöglicht Anlagenbetreibern, sich flexibel auf die Strommärkte einzustellen. Der in diesen Anlagen erzeugte Spitzenstrom kann mit geringeren spezifischen Emissionen als in konventionellen Spitzenlastkraftwerken erzeugt werden.

Für Stromverbraucher ergibt sich der Vorteil, daß auch dieser Spitzenstrom auch ökonomisch günstiger erzeugt und damit preiswerter bezogen werden kann.

4.16 Versorgungssicherheit

Die vorgeschlagenen Regelungen werden zu größeren installierten Leistungen im KWK-Bereich führen. Insgesamt bleiben die Leistung jedoch im allgemeinen weit unterhalb des Leistungsbereiches großer Kondensationskraftwerke. Die in KWK installierte Gesamtleistung wird sich daher auf eine deutlich größere Anzahl von Anlagen verteilen.

Dies ermöglicht insgesamt eine deutliche Verbesserung der allgemeinen Versorgungssicherheit. Industriebetriebe können darüber hinaus zusätzlich dahingehend gesichert werden, daß im Falle einer im Außennetz vorliegenden Störung das Kraftwerk auf Inselbetrieb umgeschaltet wird.

4.17 Referenz Stromerzeugung

Alternativ zur fixen Festlegung der Referenz der Stromerzeugung $\eta_{W,ref}$ ist auch eine Anbindung dieses Wertes an die Entwicklung des Kraftwerkparks möglich.

Denkbar ist z. B. der Durchschnittswert des Wirkungsgrades des obersten Drittels der mit den Betriebsstunden gewichtete Leistung aller mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerke η_{KW33} .

Dies würde eine weitere automatische Anpassung der Anreizwirkung an die Gesamtsituation des Kraftwerkparks bedeuten.

In diesem aktuellen Vorschlag ist jedoch darauf verzichtet worden, da noch zu wenige hocheffiziente Kraftwerke im Markt sind.

5 Anhang

5.1 Beispielrechnungen Allokation

Die in Kapitel 3 vorgestellten Regeln sind in die nachfolgende Tabelle eingearbeitet. Das Rechnungsschema steht als Exceldatei zum Download zur Verfügung¹².

	A	B	C	D	E
1	Eingaben: Betreiber				
2	Anlage			Basis Gas	-10 MW Br.
3	Brennstoff (Hu)	B	MWh	250.0	240.0
4	Strom/mechanische Arbeit netto	W	MWh	100.0	100.0
5	Wärme (Arbeit) netto	Q	MWh	100.0	100.0
6	Emissionsfaktor Brennstoff	fB	tCO2/MWh	0.2000	0.2000
7	Wärme Nennleistung	Q.nenn	MW	150.0	150.0
8	Anlage gleichzeitig nach KWK-Gesetz gefördert: Ja/Nein			n	n
9	Eingaben: Allgemeine Vorgaben				
10	Erfüllungsfaktor	EF		0.93000	0.93000
11	Emissionsfaktor KW-Mix fossil	f W mix	tCO2/MWh	0.8700	0.8700
12	Referenznutzungsgrad Wärme	eta Q ref		90.0%	90.0%
13	Referenznutzungsgrad Strom	eta W ref		57.5%	57.5%
14	Abstand zum Referenzwert	delta W ref		5.0%	5.0%
15	Ergebnis: Allokation				
16	Allokation Strom	AW	t	80.9	80.9
17	Allokation Wärme	AQ	t	20.7	20.7
18	Allokation gesamt	A	t	101.6	101.6
19	Information: Kennzahlen				
20	Nutzungsgrad Stromerzeugung	eta W		72.0%	77.6%
21	Nutzungsgrad gesamt	eta ges		80.0%	83.3%
22	Verhältnis Strom / Brennstoff	eta el		40.0%	41.7%
23	Verhältnis Wärme / Brennstoff	eta q		40.0%	41.7%
24	Stromkennzahl			1.0000	1.0000
25	Klassifizierungsfaktor Wärme	c Q		1	1
26	Klassifizierungsfaktor Strom	c W		1	1
27	Information: Emissionen Anlage				
28	CO2-Emission Brennstoff		t	50.0	48.0
29	CO2-Emission Strom		t	27.8	25.8
30	CO2-Emission Wärme		t	22.2	22.2
31	CO2 Strom alternativ aus KW-Mix fossil		t	87.0	87.0
32	Information: Vergleichskraftwerk				
33	Emmissionsfaktor Vergl.-KW	f W Vergl	tCO2/MWh	0.9700	0.9700
34	CO2 Vergleichskraftwerk		t	97.0	97.0
35	CO2 Reduktion Vergleichskraftwerk		t	69.2	71.2
36	Allokation Vergleichskraftwerk		t	90.2	90.2
37	Überschuss Zertifikate Strom		t	9.3	9.3
38	Information: Anreizwirkung				
39	Verkauf		t	55.1	56.9
40	Verkauf spezifisch		t/MWh	0.551	0.569
41	Zertifikatspreis CO2 [Eingabe]		€/t CO2	10.00	10.00
42	Anreizwirkung absolut		€	550.77	569.37
43	Anreizwirkung spezifisch (Strom)		€/MWh	5.51	5.69
44	Anreizwirkung spezifisch (CO2 Strom)		€/t CO2	7.96	7.99
45				100%	100%

**Tabelle 5.1 Anreizwirkung zur Effizienzsteigerung eines GuD-Blocks:
Die Effizienzsteigerung führt zu einer höheren Anreizwirkung (Zeile 42).**

Trotz Allokation nach dem Substitutionsprinzip werden mehr Zertifikate frei und entlasten daher in der aktuellen Handelsperiode den Zertifikatemarkt (Zeile 37). Die hohe CO₂-Reduktion wird in der nächsten Handelsperiode zu einem höheren Erfüllungsfaktor und damit zu niedrigeren Zertifikatspreisen führen (Zeile 35).

¹² Über „aktuelle Downloads“ auf www.tolle.de oder www.tolle.de/service/download/To_KWK_NAP.xls

Nachfolgend ein Vergleich zwischen Gas- und Kohle-gefeuerter KWK.

	A	B	C	D		F
1	Eingaben: Betreiber				1	
2	Anlage			Basis Gas	2	Kohle
3	Brennstoff (Hu)	B	MWh	250.0	3	192.3
4	Strom/mechanische Arbeit netto	W	MWh	100.0	4	53.8
5	Wärme (Arbeit) netto	Q	MWh	100.0	5	100.0
6	Emissionsfaktor Brennstoff	fB	tCO ₂ /MWh	0.2000	6	0.3300
7	Wärme Nennleistung	Q.nenn	MW	150.0	7	150.0
8	Anlage gleichzeitig nach KWK-Gesetz gefördert: Ja/Nein			n	8	n
9	Eingaben: Allgemeine Vorgaben				9	
10	Erfüllungsfaktor	EF		0.93000	10	0.93000
11	Emissionsfaktor KW-Mix fossil	f W mix	tCO ₂ /MWh	0.8700	11	0.8700
12	Referenznutzungsgrad Wärme	eta Q ref		90.0%	12	90.0%
13	Referenznutzungsgrad Strom	eta W ref		57.5%	13	57.5%
14	Abstand zum Referenzwert	delta W ref		5.0%	14	5.0%
15	Ergebnis: Allokation				15	
16	Allokation Strom	AW	t	80.9	16	43.6
17	Allokation Wärme	AQ	t	20.7	17	34.1
18	Allokation gesamt	A	t	101.6	18	77.7
19	Information: Kennzahlen				19	
20	Nutzungsgrad Stromerzeugung	eta W		72.0%	20	66.3%
21	Nutzungsgrad gesamt	eta ges		80.0%	21	80.0%
22	Verhältnis Strom / Brennstoff	eta el		40.0%	22	28.0%
23	Verhältnis Wärme / Brennstoff	eta q		40.0%	23	52.0%
24	Stromkennzahl			1.0000	24	0.5385
25	Klassifizierungsfaktor Wärme	c Q		1	25	1
26	Klassifizierungsfaktor Strom	c W		1	26	1
27	Information: Emissionen Anlage				27	
28	CO ₂ -Emission Brennstoff		t	50.0	28	63.5
29	CO ₂ -Emission Strom		t	27.8	29	26.8
30	CO ₂ -Emission Wärme		t	22.2	30	36.7
31	CO ₂ Strom alternativ aus KW-Mix fossil		t	87.0	31	46.8
32	Information: Vergleichskraftwerk				32	
33	Emissionsfaktor Vergl.-KW	f W Vergl	tCO ₂ /MWh	0.9700	33	0.9700
34	CO ₂ Vergleichskraftwerk		t	97.0	34	52.2
35	CO ₂ Reduktion Vergleichskraftwerk		t	69.2	35	25.4
36	Allokation Vergleichskraftwerk		t	90.2	36	48.6
37	Überschuss Zertifikate Strom		t	9.3	37	5.0
38	Information: Anreizwirkung				38	
39	Verkauf		t	55.1	39	18.6
40	Verkauf spezifisch		t/MWh	0.551	40	0.346
41	Zertifikatspreis CO ₂ [Eingabe]		€/t CO ₂	10.00	41	10.00
42	Anreizwirkung absolut		€	550.77	42	186.48
43	Anreizwirkung spezifisch (Strom)		€/MWh	5.51	43	3.46
44	Anreizwirkung spezifisch (CO ₂ Strom)		€/t CO ₂	7.96	44	7.33
45				100%	45	92%
46	Vergleichsrechnung: Modell Primärenergieeinsparung				46	
47	Referenzwirkungsgrad Strom	f W ref	tCO ₂ /MWh	0.40	47	0.40
48	Primärenergieeinsparung	PEE	MWh	111.11	48	53.42
49	Umlagefaktor	f x	tCO ₂ /MWh	0.20	49	0.20
50	Verkauf		t	20.56	50	9.89
51	Anreizwirkung absolut		€	205.63	51	98.86
52	Anreizwirkung spezifisch (Strom)		€/MWh	2.06	52	1.84
53	Anreizwirkung spezifisch (CO ₂ Strom)		€/t CO ₂	2.97	53	3.89
54				100%	54	131%

Tabelle 5.2 Vergleich Anreizwirkung Brennstoffe Gas/Kohle gleicher Wärmebedarf wie in Tabelle 5.1

Ein Modell auf Basis Primärenergieeinsparung würde kohlegefeuerten Anlagen bezogen auf die CO₂-Reduktion deutlich mehr Zertifikate zuteilen (Zeilen 53-54). Im Gegensatz zum hier vorgestellten Modell ist das Primärenergieeinsparungsmodell daher nicht brennstoffneutral!

5.2 Vorteilhaftigkeit der KWK-Stromerzeugung

Die Vorteilhaftigkeit der KWK-Stromerzeugung zeigt sich im direkten Vergleich mit anderen Kraftwerken.

Die in Gleichung (3.7) berechnete Effizienz der Stromerzeugung η_w ist gleichbedeutend mit der Effizienz des zusätzlichen Brennstoffs. Mit zusätzlich ist der Brennstoffbedarf gemeint, der über die Wärmeversorgung hinaus nur für die Stromerzeugung notwendig ist. In der Literatur wird η_w auch als KWK-Wirkungsgrad η_{KWK} bezeichnet.

5.2.1 Spezifische CO₂-Emissionen der KWK-Stromerzeugung

Der in Gleichung (3.8) vorgestellte Emissionsfaktor Stromerzeugung f_w ist identisch mit den spezifischen CO₂-Emissionen der KWK-Stromerzeugung:

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{Y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff KWK}}}{\eta_{\text{KWK}}} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (6.1)$$

5.2.2 Vergleich mit anderen Kraftwerken

Die niedrigen spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung durch KWK-Systeme lassen sich mit keinem sonstigen, fossil gefeuerten Kraftwerk erreichen.

Dies wird nachfolgend in Bild 5.1 bei einem Vergleich konventioneller Kraftwerke mit den aktuell für den Klimaschutz wichtigsten KWK-Technologien gezeigt.

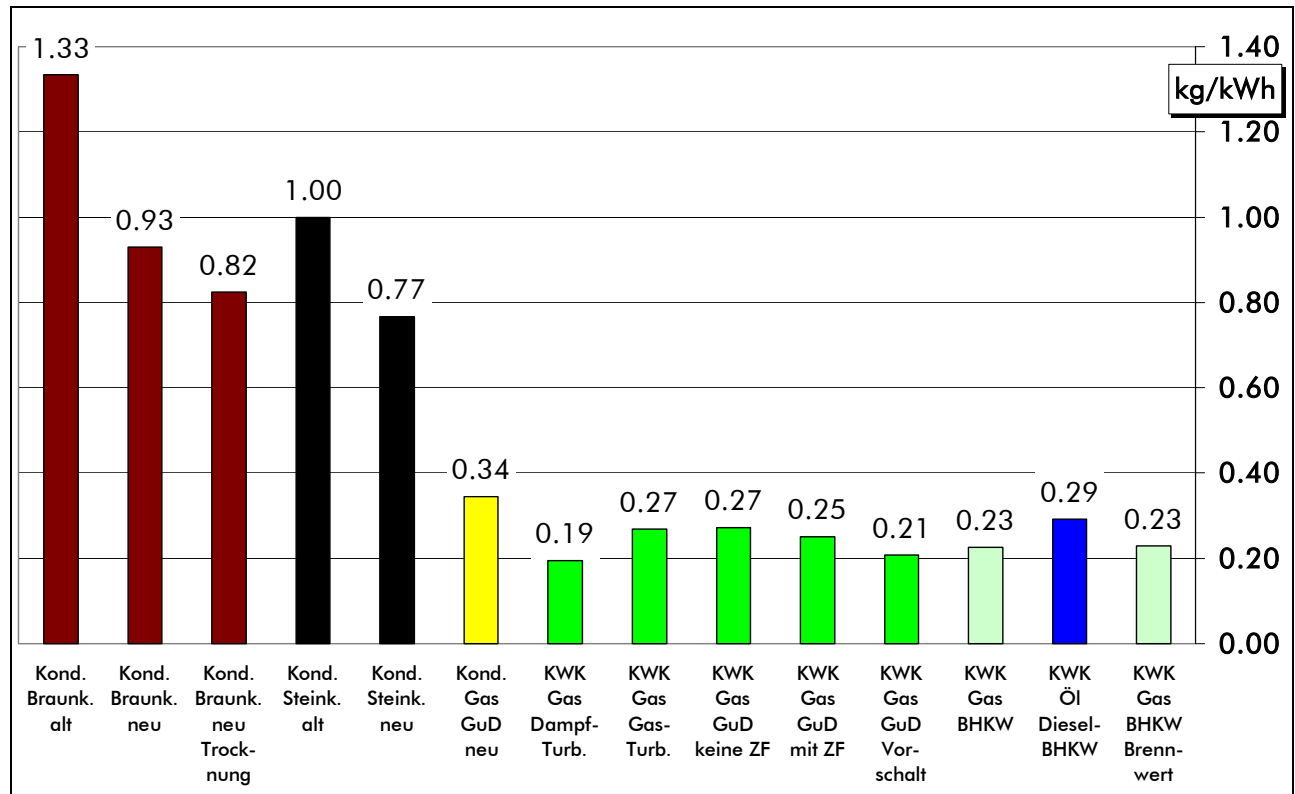


Bild 5.1 Spezifische CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung in verschiedenen Kraftwerken
Für den Ersatzkessel wird der gleiche Brennstoff wie für die KWK-Anlage eingesetzt.
Der Wirkungsgrad für den Ersatzkessel beträgt 91.0% (104.0% beim Brennwertkessel).

Man sieht, daß die spezifischen Emissionen der KWK nur etwa ein Fünftel bis ein Viertel der Werte heute betriebener, fossiler Mittel- und Grundlastkraftwerke betragen. Auch gegenüber gasgefeuerten GuD-Kraftwerken betragen die Einsparungen noch über 20 %.

5.2.3 Stromkennzahl als Schlüssel für die Höhe des Reduktionspotentials

Entscheidend für die absolute Höhe des CO₂-Reduktionspotentials ist jedoch nicht nur die spezifische CO₂-Emission der Stromerzeugung, sondern vielmehr die Stromkennzahl (s. Bild 5.2).

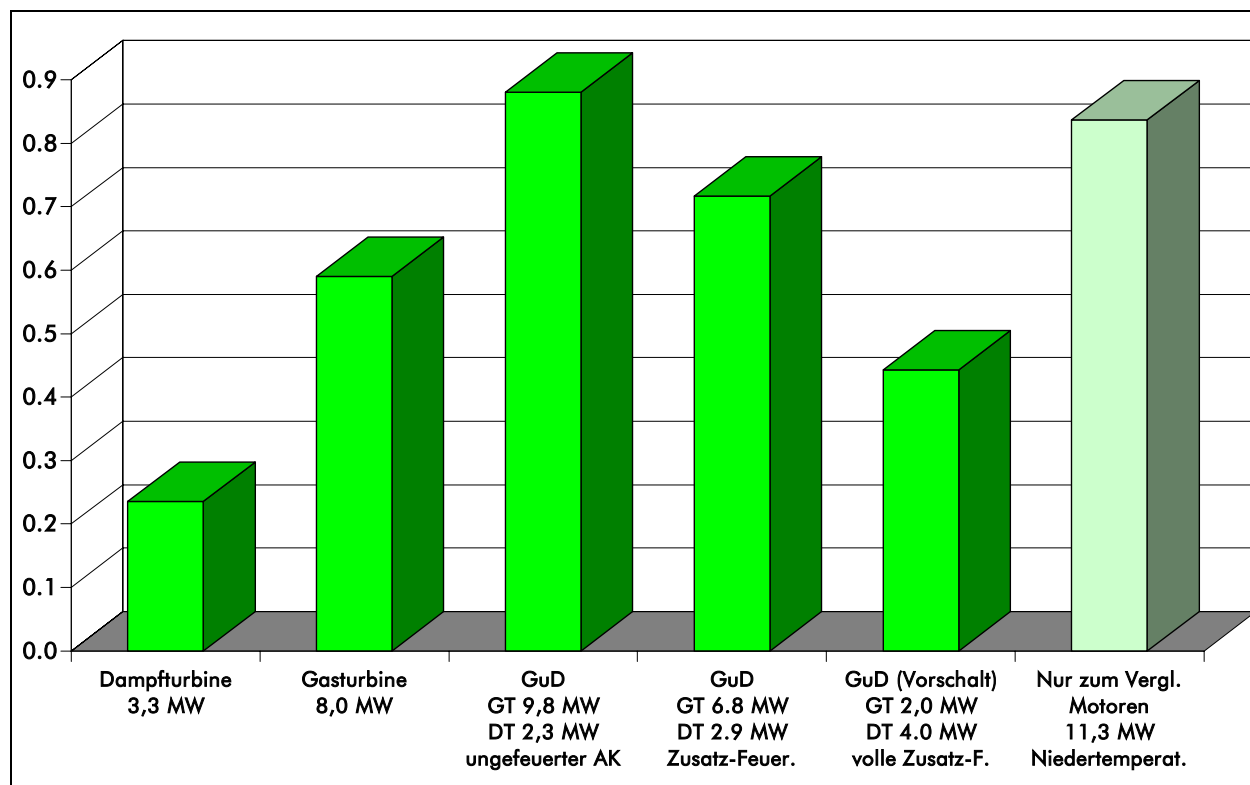


Bild 5.2 Stromkennzahl verschiedener KWK-Prozesse

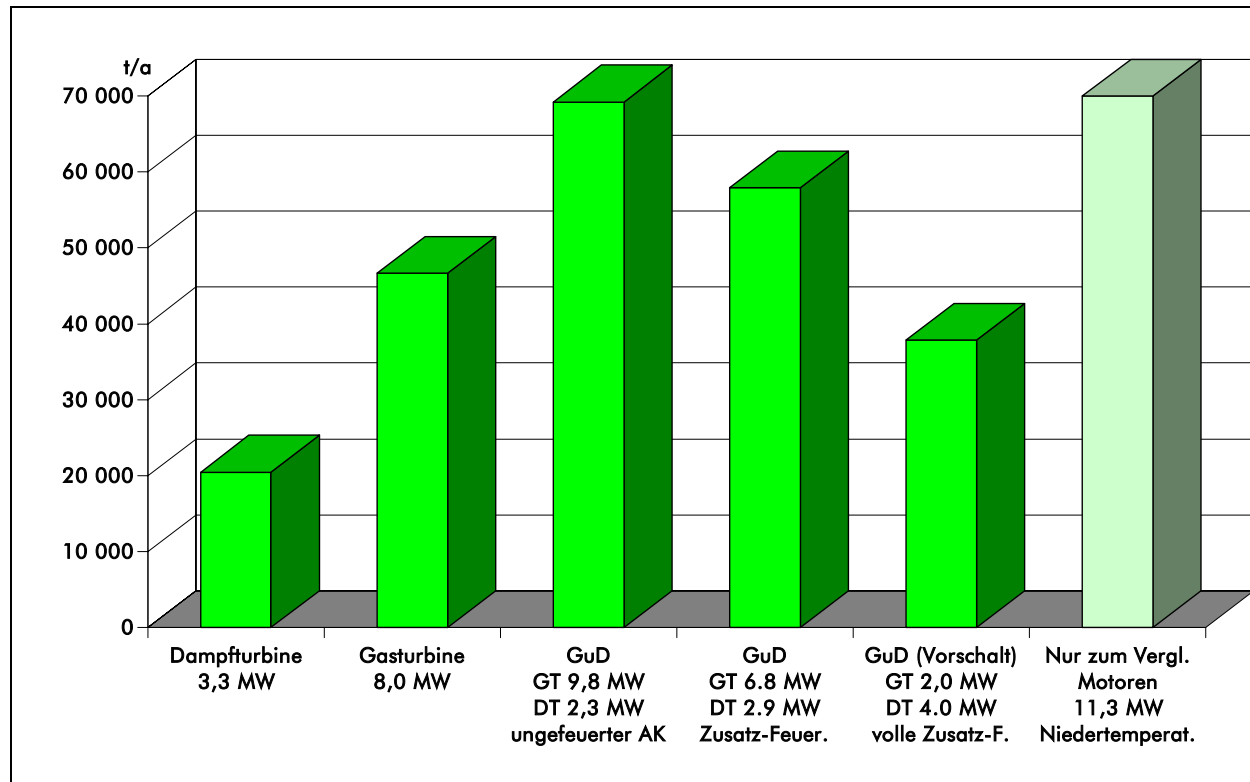


Bild 5.3 CO₂-Reduktion der oben dargestellten KWK-Prozesse: der Prozeß mit den geringsten Verlusten an Arbeitsfähigkeit - der GuD-Prozeß ohne Zusatzfeuerung - zeigt das höchste Reduktionspotential. Er hat die größte Stromkennzahl und damit die höchste elektrische Leistung. Auslastung: hier 8000 h/a

Es ist leicht zu erkennen, dass die jährlichen Einsparungen an CO₂-Emissionen direkt mit der Größe der Stromkennzahl in Zusammenhang stehen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in allen Fällen der Wirkungsgrad der KWK sehr hoch ist bzw. die entsprechenden spezifischen CO₂-Emissionen entsprechend niedrig sind¹³.

Die Stromkennzahl ist das direkte Maß dafür, wie groß bei einem gegebenen Wärmebedarf eine konkrete Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage ausgeführt wird. Die Stromkennzahl bestimmt maßgeblich die Höhe der eingesparten CO₂-Emissionen.

5.2.4 Beispiel: Energieströme einer Gasturbinen/Dampfturbinen-KWK-Anlage

Für die Bewertung der KWK ist nur interessant, wieviel Brennstoff **zusätzlich** für die Stromerzeugung benötigt wird.

Bild 5.4 verdeutlicht den Zusammenhang für eine KWK-Anlage mit 9.8 MW-Gasturbine, ungefeuerten Abhitzeessel und Dampfturbine:

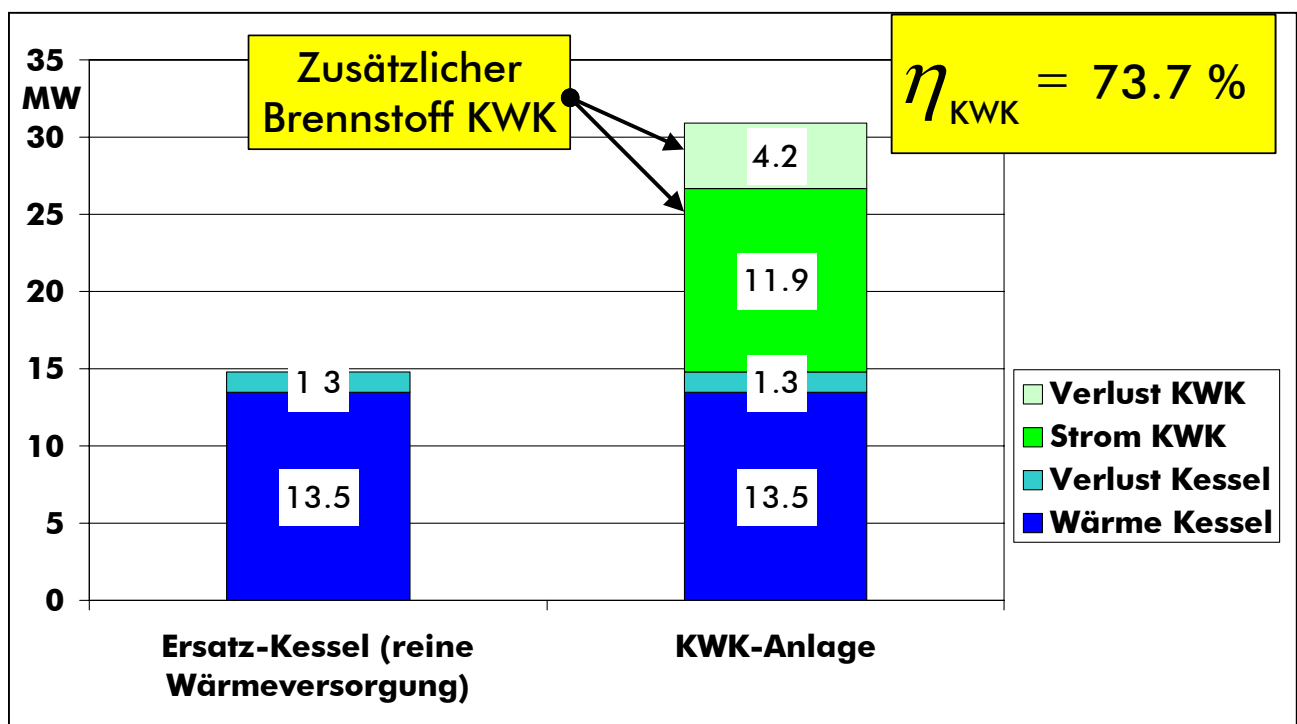


Bild 5.4 KWK-Stromerzeugung in einem Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk: hoher KWK-Wirkungsgrad

¹³ Eine detaillierte Beschreibung der vorgestellten KWK-Prozesse findet sich auf www.tolle.de

5.2.5 Berechnung aus dimensionslosen Kenngrößen

Der bereits in Kapitel 3.2 definierte Wirkungsgrad η_W wird in früheren Publikationen auch als KWK-Wirkungsgrad bezeichnet. Er läßt sich einfach auch aus vorhandenen dimensionslosen Größen ableiten:

Der thermische Wirkungsgrad des Ersatzkessels (EK) bestimmt sich aus Brennstoffbedarf und abgegebenem Nutzwärmestrom zu:

$$\eta_{EK} = \frac{\dot{Q}_{Nutz}}{\dot{B}_{EK}} \quad (6.2)$$

Der Gesamtnutzungsgrad der KWK-Anlage berechnet sich aus abgegebener Nutzwärme und elektrischer Leistung sowie Brennstoffbedarf der KWK-Anlage:

$$\eta_{ges} = \frac{\dot{Q}_{Nutz} + P_{el}}{\dot{B}_{KWK}} \quad (6.3)$$

Der elektrische Wirkungsgrad der KWK-Anlage ist das Verhältnis von elektrischer Leistung und Brennstoffleistung.

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{B}_{KWK}} \quad (6.4)$$

Aus (6.2), (6.3) und (6.4) läßt sich der KWK-Wirkungsgrad ableiten zu:

$$\eta_{KWK} = \frac{\eta_{el}}{1 - \frac{\eta_{ges} - \eta_{el}}{\eta_{EK}}} \quad (6.5)$$

5.3 Bestimmung der brennstoffbedingten Stromgestehungskosten

Auch die brennstoffbedingten Stromgestehungskosten lassen sich über den KWK-Wirkungsgrad leicht bestimmen.

$$\text{Preis}_{\text{Brennstoffanteil KWK}} = \frac{\text{Preis}_{\text{Brennstoff}}}{\eta_W} \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \quad (6.6)$$

Bei einem Gaspreis von z.B. 0,015 €/kWh und einem KWK-Wirkungsgrad von $\eta_W = 75\%$ berechnet sich also der Brennstoffanteil im Strompreis zu 0,020 €.

Durch Addition der spezifischen Wartungskosten, der umgelegten Kapitaldienstes und der sonstigen Kosten erhält man leicht die jeweiligen Stromgestehungskosten.

5.4 KWK-Potentiale

Das KWK-Potential in Deutschland ist sehr groß. Dies wird durch viele Studien und Gutachten belegt. Eine gemeinsame Stellungnahme verschiedener Verbände¹⁴ weist ein Mehrfaches der heutigen KWK-Leistung aus.

Eine Abschätzung zeigt, daß ohne signifikanten Netzausbau in 20 Jahren die Hälfte des gesamten Stromes in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden könnte¹⁵. So ließen sich allein im Bereich der Stromerzeugung die CO₂-Emissionen um die Hälfte reduzieren.

5.5 Gleichwertigkeit von elektrischer und mechanischer Energie

Elektrische und mechanische Energie sind gleichwertig. Beide sind im thermodynamischen Sinne reine Exergie.

5.5.1 Juristische Präzedenzfälle

Auch auf juristischer Ebene ist bereits vor einigen Jahren die Gleichwertigkeit von mechanischer und elektrischer Energie festgestellt worden:

1992 wurde der bis dahin nur für die KWK auf Basis von Strom- und Wärmeerzeugung §8 Abs. 2 des damals geltenden Mineralölsteuergesetzes zur Steuerbegünstigung von Heizöl auf die Erzeugung von Wärme und Kraft aus den gleichen Gründen der thermodynamischen Gleichwertigkeit ausgedehnt.

Es liegt also auch von daher eine belastbare Präzedenz vor.

¹⁴ [Grundsatzpapier zur Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland der ARBEITSGRUPPE KWK bestehend aus VKU, VIK, VDMA, BUND, FG-BHKW, e5, IPP's, AGFW, ÖTV, verabschiedete Endfassung vom 01.09.2000](#)
auch unter „aktuelle Downloads“ auf www.tolle.de

¹⁵ [Tolle, Arnold, KWK im Liberalisierten Markt, u.a.: Arbeitspapier zum Vortrag in der Arbeitsgruppe KWK-Ausbauregelung im BMWI am 15.11.2000](#)
unter „aktuelle Downloads“ auf www.tolle.de

5.6 Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
A	t CO ₂	Allokation gesamt KWK-Anlage
A _Q	t CO ₂	Allokation Wärme
A _W	t CO ₂	Allokation Strom/mechanische Arbeit (englisch work)
B	MWh	Brennstoffeinsatz gesamt KWK-Anlage
B _Q	MWh	Brennstoff Wärme
B _W	MWh	Brennstoff Strom
\dot{B}_Q	MW	Brennstoffleistung Wärme
Q	MWh	Wärme Netto
\dot{Q}	MW	Wärmeleistung Netto
W	MWh	Strom Netto
P	MW	Strom Leistung Netto KWK-Anlage
f _b	t/MWh	Emissionsfaktor des eingesetzten Brennstoffs
f _{W mix}	t/MWh	Emissionsfaktor Stromerzeugung auf Basis des fossilen Kraftwerksmixes
f _W	t/MWh	Emissionsfaktor Stromerzeugung auch spezifische Emission KWK-Strom
$\eta_{Q ref}$		Referenznutzungsgrad der Wärmeerzeugung
η_W		Nutzungsgrad Stromerzeugung
$\eta_{W ref}$		Referenznutzungsgrad Stromerzeugung
$\Delta_{W ref}$		Abstand des Schwellenwertes für CatA-Strom zum Referenzwert $\eta_{W ref}$
EF		Erfüllungsfaktor
c _Q		Klassifizierungsfaktor Wärme (0: nicht im ET, 1: ab 20 MW im ET)
c _W		Klassifizierungsfaktor Strom (0: Förderung KWK-Gesetz, 1: keine Förd. KWK-G.)